



**Para citar este artículo:** García López, M. & Montaña Sanz, B. (2020). Análisis de las diferencias entre instalaciones de depuración: evidencia para la Comunidad Valenciana. *Sostenibilidad: económica, social y ambiental*, 2, 79-94. <https://doi.org/10.14198/Sostenibilidad2020.2.06>

## **Análisis de las diferencias entre instalaciones de depuración: evidencia para la Comunidad Valenciana**

### ***Analysis of the differences between purification facilities: evidence for the Region of Valencia***

**Marcos García López**

Universidad de Alicante, España

[marcos.garcialopez@ua.es](mailto:marcos.garcialopez@ua.es)

<https://orcid.org/0000-0001-7184-1809>

**Borja Montaña Sanz**

Universidad de Alicante, España

[borja.montano@ua.es](mailto:borja.montano@ua.es)

<https://orcid.org/0000-0002-3975-5529>

## **RESUMEN**

La presente investigación examina la situación actual de la depuración de aguas residuales en la Comunidad Valenciana de España con el objetivo de obtener información relevante para mejorar la gestión de las plantas y estudiar la viabilidad de la implantación de tratamiento terciario en lugares donde no se disponga de él. Los resultados obtenidos mediante técnicas de agrupación muestran la importancia del tamaño de la planta sobre los costes, pues en el análisis se puede observar el menor coste unitario soportado por las plantas de mayor tamaño debido a la presencia de economías de escala. Además, los rendimientos de eliminación de agentes contaminantes, el aprovechamiento de la capacidad instalada y la presencia de tratamiento terciario se muestran relevantes de cara a explicar las diferencias existentes entre plantas, de modo que los resultados obtenidos son de gran interés para el diseño y la gestión de las plantas de depuración. Por último, este estudio supone un incentivo para la obtención de información, pues muestra el gran margen de mejora existente en la realización de esta actividad.

**Palabras clave:** depuración de aguas residuales; tratamiento terciario; tamaño de planta; costes de depuración; rendimientos de eliminación; capacidad instalada.



License: this work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## **ABSTRACT**

This research examines the current situation of wastewater treatment in the Region of Valencia of Spain with the objective of obtaining relevant information to improve plant management and study the feasibility of implementing tertiary treatment in places where it is not available. The results obtained through grouping techniques show the importance of plant size over costs, since the analysis shows the lower unit cost borne by larger plants due to the presence of economies of scale. In addition, the removal performance of pollutants, the use of installed capacity and the presence of tertiary treatment are relevant in order to explain the differences between plants, so that the results obtained are of great interest for the design and purification plant management. Finally, this study is an incentive for obtaining accurate information, as it shows the great margin for improvement in the performance of this activity.

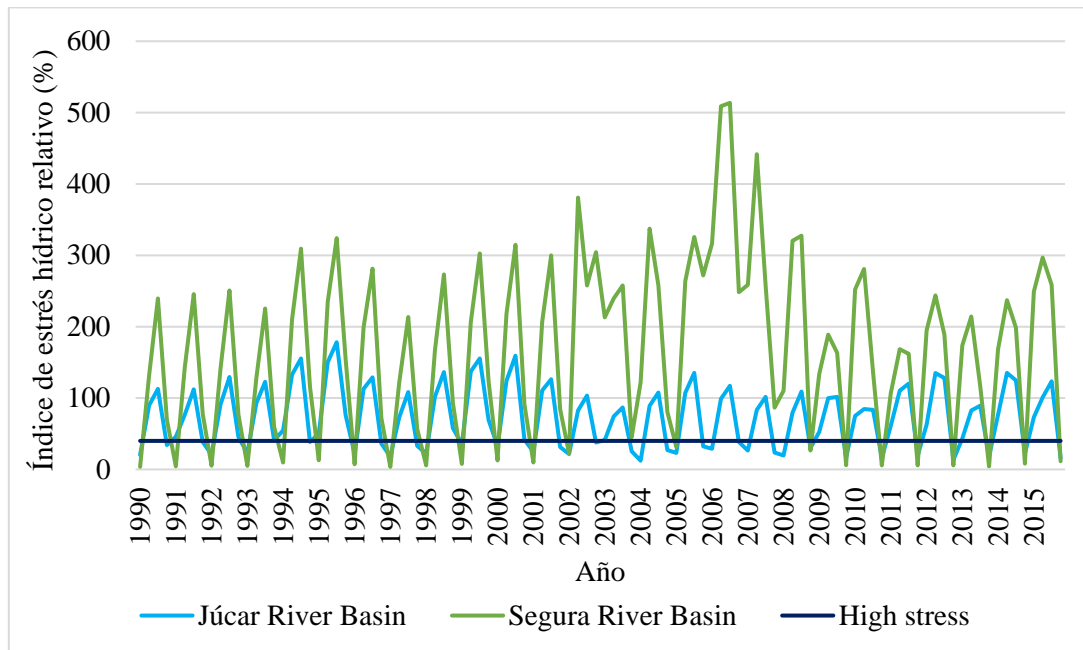
**Keywords:** wastewater treatment; tertiary treatment; plant size; wastewater treatment costs; elimination yields; installed capacity.

## **1. Introducción**

La depuración y reutilización de aguas residuales se ha convertido en una actividad de gran relevancia en España, y especialmente en la Comunidad Valenciana, debido a la gran escasez de recursos hídricos que sufre esta región. Para ilustrar la situación, la Figura 1 muestra el índice de estrés hídrico relativo para las Confederaciones Hidrográficas del Júcar y del Segura, las cuales ocupan casi todo el territorio de esta comunidad autónoma. El índice se calcula dividiendo los recursos utilizados entre los recursos renovables disponibles en un determinado periodo de tiempo que, en este caso, coincide con las estaciones. Este índice se valora por tramos, siendo el más elevado el que supera el 40%, es decir, a partir de ese punto se considera que el consumo de agua dado los recursos disponibles es demasiado elevado. Para estas dos confederaciones se puede observar cómo, en pocos periodos entre 1990 y 2015, el estrés baja del 40%, siendo las bajadas de este punto habitualmente en otoño o invierno, mientras que, en periodos como primavera o verano, las más altas temperaturas, menores precipitaciones y mayor número de turistas contribuyen a que el consumo de la zona sea excesivo, especialmente en el caso del verano.

Ante esta situación, uno de los objetivos principales de la política hídrica consiste en aliviar la escasez, de modo que tanto el medio natural como la actividad económica no se vean afectados. Por otra parte, los efectos de la escasez deben sumarse a los derivados de la contaminación de los vertidos, los cuales repercuten en el estado de las masas de agua y en las formas de vida que las necesitan, por lo que estamos obligados a tratar las aguas tras su uso y reducir así el impacto ambiental (EU, 2000). Cuando los tratamientos son lo suficientemente avanzados, el agua resultante del proceso puede reutilizarse, evitando el consumo de agua natural y aprovechando al máximo las ventajas del tratamiento (CONAMA 9, 2008). Por tanto, esta es una actividad que permite aliviar la carga sobre las masas de agua al aumentar los recursos disponibles y reducir la contaminación por vertido, contribuyendo significativamente a superar periodos de escasez (Dreizin, 2006), lo que es muy importante debido a la mayor incidencia de sequías en los últimos tiempos (Navarro, 2018).

Figura 1. Estrés hídrico relativo para las confederaciones del Júcar y del Segura de 1990 a 2015, en comparación con el nivel de referencia de estrés elevado (*high stress*). Fuente: elaboración propia con datos de la European Environment Agency.



La literatura previa muestra la necesidad de llevar a cabo análisis precisos, pues las características de los procesos de depuración condicionan de manera significativa aspectos como el tratamiento a aplicar y los costes económicos (Alver & Kazan, 2020; Nascimento *et al*, 2020). En este sentido, se aplicará un conjunto de tratamientos determinado en función de los agentes contaminantes presentes en el agua (Shahmansouri & Bellona, 2015; Alver & Kazan, 2020), pues estos pueden ser muy variados (Zarzycki *et al*, 2013). Además, en el caso del tratamiento terciario, se requerirá de una calidad específica del agua dependiendo del uso que se le vaya a dar (Melgarejo *et al*, 2016). Esto conlleva una dificultad añadida para los proyectos que persigan un incremento de la reutilización del agua, no obstante, en una situación de escasez de recursos permite mejorar el estado de las masas de agua a través de la reducción de la contaminación y el incremento en la oferta de recursos. Por estos motivos, el adecuado diseño y funcionamiento de una planta depuradora es esencial para que la gestión de los recursos hídricos sea óptima. De este modo, analizar la eficiencia de las plantas depuradoras con el objetivo de predecir el funcionamiento de nuevas y necesarias instalaciones es esencial debido a la importancia de la adecuada gestión de los recursos hídricos (Abba *et al*, 2020; Marzouk & Elkadi; 2016, Alver & Kazan, 2020; Mjalli *et al*, 2007). Así, los estudios anteriores se centran en agentes contaminantes y tratamientos concretos, a menudo a través del uso de redes neuronales artificiales que se apoyan en el Coeficiente de Correlación de Pearson o en el Análisis por Componentes Principales (Jayaweera & Aziz, 2018). Estas técnicas permiten valorar la correlación entre variables, además de la adecuada elección de variables de interés y su relevancia, pudiendo así estar en situación de predecir el comportamiento de nuevas plantas en relación con los tratamientos y agentes contaminantes estudiados. Este es un aspecto de gran relevancia, pues no sólo supone una predicción del funcionamiento de una futura planta, sino que también permite mejorar la estimación de los costes del proyecto con el objetivo de desarrollarlo de manera eficiente. De este modo, es posible analizar la viabilidad técnica y económica que requiere este tipo de proyectos (Mahamuni & Adewuyi, 2010), además de reducir la incertidumbre acerca del coste financiero del proyecto (Wiesner *et al*, 1994). Sin embargo, para que esto sea posible de

manera precisa debe tenerse información completa, no sólo de las plantas que se analizan, sino de la localización y otras características asociadas a la nueva planta (Shah & Reid, 1970; Ghaffour, Missimer & Amy, 2013).

Económicamente hablando, los distintos servicios del agua suponen una parte significativa de la economía de una región (Plappally & Lienhard, 2012). En la Comunidad Valenciana esta actividad está gestionada por la EPSAR (Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales) una entidad pública que se financia mediante un impuesto, es decir, esta actividad se lleva a cabo gracias a la contribución de todos los consumidores de agua, por lo que es fundamental realizarla de manera eficiente con el fin de hacer buen uso de los fondos públicos. Un aspecto clave de la eficiencia son los costes, destacando aspectos como el incremento de estos cuando la contaminación del agua es mayor (Yongguan, Seip & Vennemo, 2001; McDonald *et al*, 2016) o como la presencia de economías de escala (Shah & Reid, 1970). En consecuencia, reducir al máximo la contaminación permitiría reducir los costes a la vez que se reduce el impacto sobre el medio natural, de modo que contribuye de manera importante a alcanzar la sostenibilidad (Hutton *et al*, 2004). Esto último se vuelve todavía más importante en el actual contexto de elevada contaminación, de cambio climático y de población mundial creciente (Haller, Hutton & Bartram, 2007). Por último, cabe destacar que existen diversos tipos de tratamiento con sus respectivos costes. Además, a la hora de analizar de manera completa el funcionamiento de las plantas de depuración, se deben tener en cuenta aspectos fundamentales como la cantidad tratada, el tamaño de la planta, la calidad del agua inicial, la calidad del agua requerida, la situación energética y aspectos geográficos y climáticos (Qasim *et al*, 1992).

## 1.1. Objetivos

Esta investigación persigue aportar información acerca del funcionamiento actual de las depuradoras de la Comunidad Valenciana, de modo que las nuevas medidas se puedan basar en una información completa. Con este objetivo se presentan, a continuación, la zona de estudio, los datos utilizados y la metodología seguida y, por último, los resultados y conclusiones obtenidos.

## 2. Zona de estudio

La zona de estudio es la Comunidad valenciana, una región del este y sureste de España que cuenta con una extensión de 23.255 km<sup>2</sup>, con 4.974.475 habitantes a 1 de enero de 2019 y con diversos climas a lo largo del territorio. Es una región que sufre de gran escasez de recursos hídricos, lo que ha promovido que sea una de las regiones más eficientes de Europa en cuanto a depuración y reutilización de aguas residuales. En las instalaciones de depuración de esta región, en el año 2018, se han tratado 442,75 hm<sup>3</sup> de aguas residuales, de los cuales se han podido reutilizar 139,29, lo que supone el 31,46% del volumen total depurado, además de haberse producido un total de 373.107 toneladas de materia húmeda de lodos a los que se les ha dado un uso agrícola o energético (EPSAR, 2018). Además, conscientes en la EPSAR del problema energético, poco a poco se va progresando y, en el mismo año, el 19,52% de la energía utilizada durante el tratamiento de las aguas proviene de energías renovables con el objetivo de evitar la utilización de combustibles fósiles.

### 3. Metodología

Las técnicas utilizadas en este artículo dependen en gran medida de la información disponible, pues la escasez de esta implica no poder utilizar técnicas de mayor precisión. En primer lugar, se muestran unos descriptivos básicos de la información disponible para las 90 depuradoras incluidas en el análisis. En segundo lugar, se realiza un análisis por conglomerados con el objetivo de clasificar las depuradoras en grupos lo más homogéneos posible. Por último, un análisis por componentes principales complementará el de conglomerados aportando nuevos detalles acerca de la relevancia de cada variable.

En cuanto al análisis por conglomerados, se incluyen todas las variables del apartado posterior a excepción de las relativas a los tratamientos realizados. Esto se debe a la reducida información disponible, lo que impide determinar correctamente la influencia de cada tratamiento por la variedad de estos. Sin embargo, con el objetivo de obtener información acerca del tratamiento terciario, sí que se incorpora una variable categórica que toma el valor 1 cuando la planta dispone de tratamiento terciario y 0 cuando no cuenta con él. El número de conglomerados se ha establecido en 6, de modo que no se obtengan grupos con un número de depuradoras demasiado bajo, el método de agrupación de casos utilizado es *K medias* y la medida de asociación utilizada es la distancia euclídea.

Por último, el análisis por componentes principales busca complementar el realizado por conglomerados aportando información adicional sobre las diferencias entre grupos a través de la agrupación de variables, disponiendo así tanto de la influencia de los componentes sobre las diferencias como del peso explicativo de cada variable sobre los componentes obtenidos. De nuevo, se establece un límite de 5 componentes para no obtener un número excesivo de estos y, en este caso, es utilizada la matriz de correlación como medida de las relaciones entre variables.

#### 3.1. Datos y variables

En cuanto a los datos utilizados para realizar los análisis mencionados, estos provienen en su totalidad de la página web de la EPSAR (EPSAR, 2019). Por desgracia, la información disponible es limitada y se reduce a un pequeño grupo de aspectos clave de las depuradoras de la Comunidad Valenciana para el año 2018.

En primer lugar, existen variables acerca del tamaño de la planta, medidas como el caudal de proyecto de la planta, el caudal tratado, ambas en metros cúbicos, y la proporción que la segunda supone sobre la primera, de modo que pueda analizarse el aprovechamiento de la capacidad. La potencia instalada en kW también es muestra del tamaño de la planta, aunque, por desgracia, no se dispone actualmente del coste energético que afrontan las estaciones de depuración, sino solamente la potencia que podría alcanzar. Por último, también se dispone de la población servida medida en habitantes equivalentes.

Por otra parte, se cuenta con tres variables que miden el rendimiento (en %) en la eliminación de agentes contaminantes, como son la eliminación de sólidos en suspensión (SS), la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y la demanda química de oxígeno (DQO). Estas variables permiten examinar los rendimientos de los tratamientos que se están alcanzando en las estaciones de depuración y son de ayuda para clasificarlas.

En cuanto al coste de depuración, es el dato más limitado de todos, pues solamente se cuenta con el coste de explotación en euros para el año 2016 por sistema de depuración. A pesar de que existe un buen motivo para agrupar depuradoras en sistemas, como es la reducción del coste de depuración, esto implica la imposibilidad de diferenciar las depuradoras que forman parte de un sistema, pues cada depuradora cuenta con sus propias características.

El último grupo de variables disponible consiste en los tratamientos realizados en cada estación. Aunque se cuenta con todos los tratamientos (41) para todas las depuradoras (485), la reducida información acerca del coste del tratamiento (solamente el de explotación para depuradoras concretas para el año 2016) conlleva no poder utilizar gran parte de las depuradoras, así como no poder valorar adecuadamente la influencia de cada variable. De este modo, de las 485 depuradoras en funcionamiento, solamente se puede incluir en este análisis un total de 90.

Tabla 1. Descripción de las variables de interés del análisis. Fuente: elaboración propia a partir de información de la EPSAR.

Variable de interés	Descripción
Potencia instalada (kW)	Potencia eléctrica instalada en la planta
Caudal de proyecto (m <sup>3</sup> /día)	Caudal de aguas que la planta fue diseñada para tratar
Caudal tratado (m <sup>3</sup> /día)	Caudal que la planta está tratando en la actualidad
Proporción del caudal de proyecto aprovechado (%)	Proporción del caudal tratado en la actualidad sobre el diseñado
Población servida (he)	Población a la que la planta da servicio
Coste de explotación (Euros)	Coste de explotación total de la planta
Coste unitario (Euro/m <sup>3</sup> )	Coste de tratamiento de cada metro cúbico de agua tratada
SS (%)	Rendimientos de eliminación de sólidos en suspensión
DBO5 (%)	Rendimientos de eliminación de la demanda biológica de oxígeno
DQO (%)	Rendimientos de eliminación de la demanda química de oxígeno
Con tratamiento terciario (Unidades)	Número de plantas que disponen de tratamiento terciario

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Evidencia descriptiva

En la Tabla 2 se muestran las medias de las variables utilizadas para el total de plantas de depuración, distinguiendo entre aquellas que cuentan con tratamiento terciario y aquellas que no. En primer lugar, las variables relacionadas con el tamaño de la planta muestran cómo, en media, las depuradoras que disponen de tratamiento terciario son más grandes que las demás, lo que guarda relación con los menores costes unitarios derivados de las economías de escala. Además, se puede observar que el coste unitario por metro cúbico es menor en las plantas que



disponen de tratamiento terciario, pero esto se deriva de la presencia de un gran número de depuradoras de un tamaño muy reducido que solamente cuentan con el tratamiento secundario básico y con un coste económico elevado. Sin embargo, debe recordarse que existen diferencias en eficiencia entre plantas, por lo que estos datos podrían variar si se incluyera una medida de eficiencia, no disponible con la información actual. Por otra parte, las plantas sin tratamiento terciario aprovechan en mayor medida la capacidad instalada, pero sería necesario realizar un análisis más preciso para evaluar este aspecto, pues existen depuradoras que cuentan con gran capacidad debido a la necesidad de tratar un elevado volumen de aguas residuales en la temporada turística, mientras que el resto del año esta capacidad está infrautilizada. Por último, las plantas que cuentan con tratamiento terciario presentan unos rendimientos de eliminación de agentes contaminantes superior a las demás, probablemente debido a la presencia de tratamientos más avanzados.

Tabla 2. Medias de las variables incluidas en el análisis para el total de plantas, para las que no cuentan con tratamiento terciario y para las que sí disponen de él, así como su número.

Fuente: elaboración propia a partir de datos de la EPSAR.

Datos generales (medias)	Total de plantas	Plantas sin tratamiento terciario	Plantas con tratamiento terciario
Potencia instalada (kW)	715,83	507,43	1.360,00
Caudal de proyecto (m <sup>3</sup> /día)	11.756,12	8.158,39	22.506,09
Caudal tratado (m <sup>3</sup> /día)	6.828,08	4.920,99	12.499,59
Proporción del caudal de proyecto aprovechado (%)	0,58	0,61	0,51
Población servida (he)	32.484,86	20.666,10	68.077,77
Coste de explotación (Euros)	776.659,50	532.261,62	1.508.057,60
Coste unitario (Euro/m <sup>3</sup> )	0,74	0,80	0,57
SS (%)	95,22	94,62	96,36
DBO5 (%)	96,24	95,84	97,45
DQO (%)	92,32	91,99	93,23
Número de plantas	90	68	22

#### 4.2. Análisis por conglomerados

La Tabla 3 muestra la agrupación realizada a través del análisis por conglomerados. Los resultados muestran que hay una cantidad de plantas en cada grupo suficiente para que todos cuenten con alguna con tratamiento terciario, incluso el grupo más pequeño con cinco plantas, como confirma la Tabla 4. No obstante, casi la mitad del total de plantas se agrupa en los dos primeros conglomerados, contando uno de ellos con solamente una planta con tratamiento terciario, lo que se debe a que este grupo contiene las depuradoras más pequeñas que no disponen, en la mayoría de los casos, de tratamiento terciario.

Tabla 3. Distribución de plantas en los conglomerados, mostrándose la frecuencia, el porcentaje sobre el total y el porcentaje acumulado. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la EPSAR.

Distribución de plantas en los conglomerados	Frecuencia	Porcentaje del total	Porcentaje acumulado
1	22	24,44	24,44
2	21	23,33	47,78
3	12	13,33	61,11
4	5	5,56	66,67
5	13	14,44	81,11
6	17	18,89	100
Total	90	100	100

Para profundizar en las características de cada grupo, la Tabla 4 muestra las medias de cada variable utilizada en la agrupación para los seis grupos formados.

Tabla 4. Medias de las variables incluidas en el análisis por conglomerados para los seis grupos obtenidos. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la EPSAR.

Datos por conglomerado (Medias)	1	2	3	4	5	6
Potencia instalada (kW)	881,86	67,57	497,17	2.045,20	185,54	1.470,65
Caudal de proyecto (m <sup>3</sup> /día)	12.459,09	655,24	5.790,42	53.464,00	2.017,23	23.950,71
Caudal tratado (m <sup>3</sup> /día)	6.373,05	302,05	3.115,33	31.944,40	1.397,38	14.865,00
Proporción del caudal de proyecto aprovechado (%)	0,54	0,55	0,54	0,63	0,67	0,63
Población servida (he)	30.048,82	1.357,05	11.778,42	169.014,00	6.739,08	68.238,00
Coste de explotación (Euros)	773.816,77	61.819,86	456.519,00	3.881.316,40	226.177,08	1.397.179,60
Coste unitario (Euro/m <sup>3</sup> )	0,40	1,78	0,51	0,35	0,58	0,31
SS (%)	96,14	93,00	94,33	96,60	96,23	96,24
DBO5 (%)	96,23	95,43	95,00	97,60	97,00	97,18
DQO (%)	92,36	91,10	91,17	94,00	93,85	92,94
Con tratamiento terciario (Unidades)	5,00	1,00	3,00	5,00	2,00	6,00



Por un lado, el grupo dos contiene un elevado número de depuradoras de muy reducido tamaño, por lo que cuenta con el mayor coste y solamente una planta cuenta con tratamiento terciario, de modo que es un grupo formado por pequeñas instalaciones en las que se aplican los tratamientos básicos. El grupo cinco, por su parte, está formado por plantas ligeramente mayores que las del anterior y, de nuevo, cuentan con un reducido número de depuradoras con tratamiento terciario. Por otra parte, los grupos cuatro y seis contienen las plantas de mayor tamaño, grupos que presentan un menor coste unitario y una mayor presencia de depuradoras con tratamiento terciario, hasta el punto de que el grupo cuatro solamente cuenta con plantas que disponen de él. Por último, los grupos uno y tres están, en cuanto a tamaño, entre medias de los anteriores, tanto en tamaño como en coste unitario y presencia de plantas con tratamiento terciario. Las Figuras 2 y 3 muestran la distribución de los conglomerados obtenidos con el fin de visualizar los resultados. La primera de estas figuras muestra la relación entre los rendimientos de eliminación y la población servida mientras la segunda figura muestra la existente entre coste unitario y caudal tratado.

Figuras 2. Promedio de los rendimientos de eliminación y población servida por conglomerado. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la EPSAR.

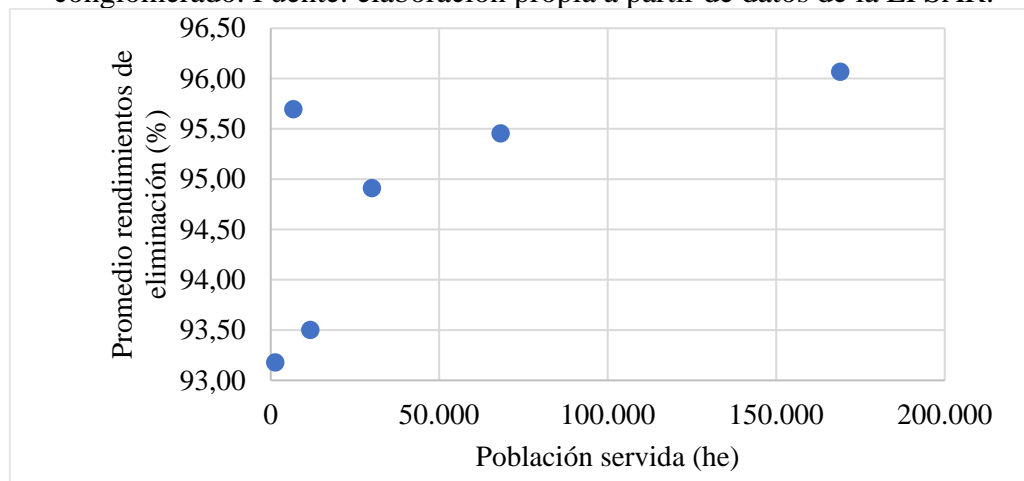
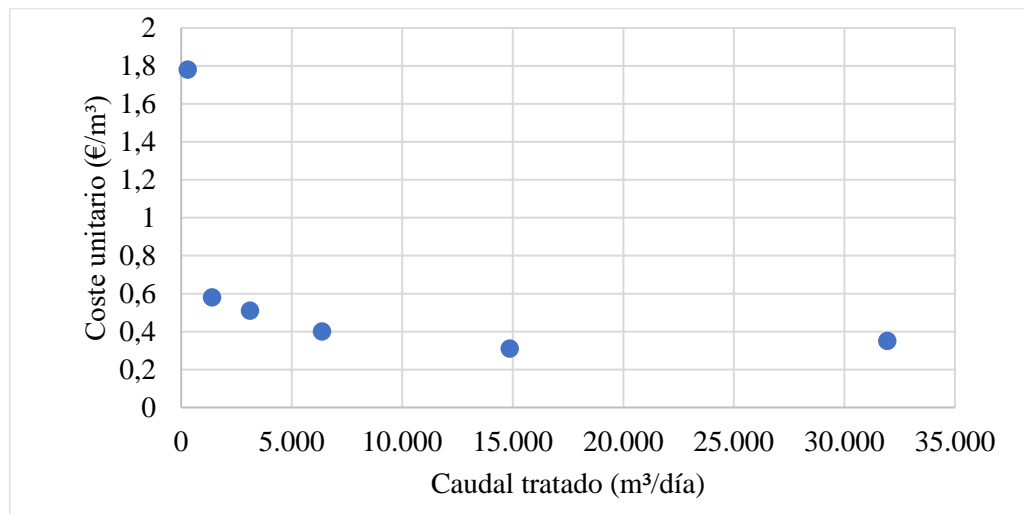


Figura 3. Caudal tratado y coste unitario por conglomerado. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la EPSAR.



En ambos casos, se muestra cómo las plantas de mayor tamaño reflejan mayores rendimientos de eliminación y presentan costes unitarios inferiores.

Como se puede observar, la información obtenida a través de esta técnica permite realizar una agrupación en función de diferentes criterios, pero no aporta evidencia de cómo las variables influyen en las diferencias entre depuradoras. Para ello se realiza un análisis por componentes principales, de modo que la evidencia acerca de la situación de las plantas de esta región sea más profunda y se pueda encontrar influencia por parte del tratamiento terciario.

#### 4.3. Análisis por componentes principales

La Tabla 5 muestra el número de observaciones utilizadas y la variabilidad explicada, pero cabe destacar que esta técnica reduce las diferencias a los aspectos principales, por lo que no permite identificar la relevancia de factores inobservables. Esta tabla muestra que parte de la variabilidad explicada proviene de cada uno de los componentes, siendo el 81,8% explicado a través de los tres primeros. Los componentes cuatro y cinco explican un 7,38% y un 5,36%, respectivamente, de modo que mediante los cinco primeros se alcanza el 93,4% y estos últimos pueden utilizarse en caso de aportar nuevos detalles relevantes, no obstante, los tres primeros aportan el grueso de la explicación. Los demás componentes calculados aportan poca información (6,4%), por lo que no serán valorados.

Tabla 5. Resumen del análisis por componentes principales con el número de observaciones, la variabilidad explicada y los datos de cada componente. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la EPSAR.

	Valor propio	Diferencia	Proporción	Acumulativo
<b>Componente 1</b>	4,895	2,039	0,445	0,445
<b>Componente 2</b>	2,856	1,610	0,260	0,705
<b>Componente 3</b>	1,246	0,509	0,113	0,818
<b>Componente 4</b>	0,738	0,202	0,067	0,885
<b>Componente 5</b>	0,536	0,218	0,049	0,934
<b>Componente 6</b>	0,318	0,126	0,029	0,963
<b>Componente 7</b>	0,192	0,115	0,018	0,980
<b>Componente 8</b>	0,077	0,017	0,007	0,987
<b>Componente 9</b>	0,060	0,005	0,006	0,993
<b>Componente 10</b>	0,055	0,027	0,005	0,998
<b>Componente 11</b>	0,027	-	0,003	100,000
<b>Número de observaciones</b>	90			
<b>Rho</b>	0,934			

La Tabla 6 muestra la aportación de cada variable a los diferentes componentes considerados, pues la variación explicada a partir de ahí es mucho más reducida. El primer componente, que aporta casi la mitad de la capacidad explicativa, parece guardar relación con el tamaño de la planta, pues las variables relacionadas con el tamaño y los rendimientos de eliminación influyen positivamente en él mientras el coste unitario lo hace de manera negativa, lo que es reflejo de la presencia de economías de escala. El segundo componente recibe influencia negativa de variables relacionadas con el tamaño y positiva por parte del coste unitario y, de forma significativa, de las variables representativas de los rendimientos de eliminación, de

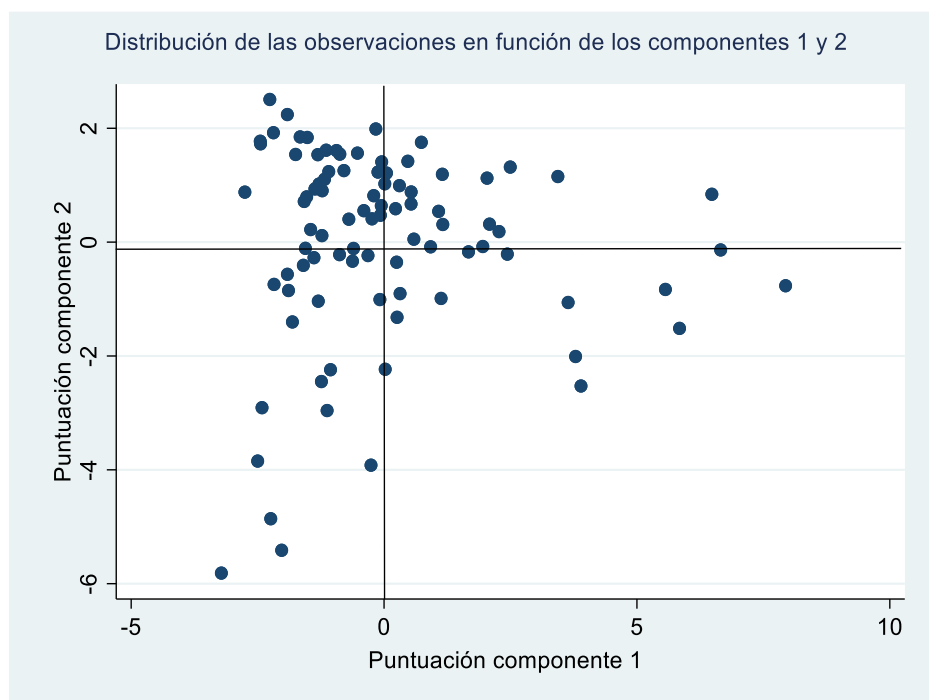
modo que estos últimos pueden contribuir a explicar una parte relevante de las diferencias. En cuanto al tercer componente, la importante influencia positiva de la proporción del caudal aprovechado, así como la negativa del coste unitario, parece mostrar relevancia del aprovechamiento de la capacidad instalada, pues plantas similares en tratamientos y características pueden diferir en costes cuando existen diferencias entre ellas en términos de utilización de la capacidad. El cuarto componente, por su parte, recibe una escasa influencia por parte de la mayoría de las variables, destacando la importante influencia negativa de la presencia de tratamiento terciario, lo que aporta evidencia de que cuenta con un efecto muy particular. Por último, el quinto tratamiento está en una situación similar al anterior, pero en este caso destaca el efecto positivo de la potencia instalada, por lo que, a pesar de la escasa información disponible acerca del consumo energético, se obtiene evidencia de su influencia.

En todo caso, cabe destacar que las diferencias en eficiencia entre plantas adquieren un papel fundamental pues, aunque se puede observar claramente la presencia de economías de escala, la evidencia que se puede obtener acerca de cada aspecto es reducido a pesar de existir indicios de la relevancia de cada uno. No obstante, las diferencias principales pueden reducirse a tamaño de planta, rendimientos de eliminación y aprovechamiento de capacidad instalada, seguidos por la presencia de tratamiento terciario y la potencia energética, sin tener en cuenta aspectos ligados a la localización, al consumo energético real y a los tratamientos aplicados. Por último, la Figura 4 muestra la distribución entre observaciones en función de los dos primeros componentes obtenidos. Esto permite observar la existencia de grandes diferencias entre plantas depuradoras, pues entre los 2 componentes acumulan gran capacidad explicativa y la dispersión entre plantas es significativa.

Tabla 6. Aportación de las variables a cada uno de los componentes. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la EPSAR.

Aportación de las variables	Compon ente 1	Compon ente 2	Compon ente 3	Compon ente 4	Compon ente 5	Inexpli cado
Potencia instalada (kW)	0,374	-0,032	-0,068	-0,162	-0,376	0,211
Caudal de proyecto (m <sup>3</sup> /día)	0,424	-0,096	-0,127	0,180	-0,088	0,045
Caudal tratado (m <sup>3</sup> /día)	0,409	-0,148	-0,024	0,257	0,135	0,059
Proporción del caudal de proyecto aprovechado (%)	0,023	-0,294	0,666	-0,033	0,538	0,042
Población servida (he)	0,433	-0,050	-0,033	0,146	0,182	0,040
Coste de explotación (Euros)	0,430	-0,057	-0,062	0,168	0,132	0,051
Coste unitario (Euro/m <sup>3</sup> )	-0,179	0,212	-0,592	0,284	0,559	0,052
SS (%)	0,148	0,506	0,157	0,040	-0,212	0,106
DBO5 (%)	0,113	0,523	0,236	-0,029	0,184	0,068
DQO (%)	0,098	0,545	0,204	0,091	0,085	0,043
Disponer de tratamiento terciario	0,253	0,067	-0,240	-0,856	0,307	0,011

Figura 4. Distribución de las plantas depuradoras en función de los componentes 1 y 2 obtenidos. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la EPSAR.



## 5. Conclusiones

Esta investigación persigue aportar información relevante acerca de la situación de la depuración de aguas residuales en la Comunidad Valenciana con especial énfasis sobre el coste del tratamiento terciario y el tamaño de planta. La información disponible, aunque escasa, y las técnicas utilizadas han permitido realizar agrupaciones tanto de plantas depuradoras como de determinadas variables de interés, aportando resultados relevantes de cara a la mejora de las plantas.

El tamaño de las plantas se ha mostrado como uno de los factores más relevantes en todo momento y guarda una íntima relación con el coste unitario por metro cúbico del tratamiento debido a la presencia de economías de escala. Además, la agrupación por conglomerados ha mostrado la relevancia de este vínculo, pues el tamaño ha sido uno de los factores determinantes de la formación de grupos. Esta técnica ha permitido detectar que un número importante de plantas depuradoras de reducido tamaño opera muy por debajo de su capacidad, de modo que el hecho de no aprovechar de la capacidad instalada, junto con el reducido volumen de agua tratado, lleva asociado un coste unitario relativamente elevado. Por supuesto, el agua que tratan estas instalaciones no puede quedarse sin tratar, pero estos resultados son una muestra de la falta de eficiencia de un gran número de plantas, especialmente debido a su tamaño. Sin embargo, esto no implica mantener reducidos niveles de eficiencia en plantas de mayor tamaño, pues son las que tratan gran parte del agua y requieren de más fondos, por lo que su eficiencia es clave.

Por otra parte, el análisis por componentes principales realizado va en línea con la agrupación de depuradoras. Esta técnica ha mostrado cómo con solamente tres componentes, la variabilidad explicada alcanza el 80%, destacando el tamaño de la planta y los rendimientos

de eliminación de agentes contaminantes. Tras estos factores clave, el aprovechamiento de la capacidad y la presencia de tratamiento terciario adquieren cierta relevancia, mostrando la importancia que tienen a la hora de explicar las diferencias, así como la dificultad de alcanzar un grado elevado de eficiencia en las plantas debido a la diversidad de factores que inciden en ella. Estos resultados resaltan la necesidad del buen diseño y de la adecuada localización de las instalaciones con el objetivo de minimizar los costes y maximizar los rendimientos de eliminación.

En resumen, esta investigación aporta información de utilidad a valorar en el momento de gestionar las instalaciones de depuración, sin embargo, el estudio realizado cuenta con algunas limitaciones. En primer lugar, la información disponible limita estrictamente tanto el análisis como los resultados que se puedan obtener. En segundo lugar, no se dispone de información geográfica de la región en que se ubican las plantas ni de las características socioeconómicas y demográficas de las poblaciones a las que sirven. Por último, las condiciones energéticas a las que está sometida cada planta son particulares, lo que lleva a unas diferencias en eficiencia energética, con su respectivo impacto sobre los costes y las emisiones de gases de efecto invernadero, que no pueden ser incluidas al no disponer de detalles sobre este aspecto.

## Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada por el Vicerrectorado de Investigación y Transferencia de Conocimiento de la Universidad de Alicante, España (Marcos García López tiene un contrato para la formación predoctoral de la Universidad de Alicante, referencia UAFPU2019-16), por el Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante, por la Cátedra del Agua de la Universidad de Alicante-Diputación Provincial de Alicante (2020) y por la red de excelencia CampusHabitat5U. Agradecemos también a los revisores y editores cuyos comentarios han contribuido a la mejora de esta investigación.

## Referencias

- Abba, S. I., Pham, Q. B., Usman, A. G., Linh, N. T. T., Aliyu, D. S., Nguyen, Q. & Bach, Q. V. (2020). Emerging evolutionary algorithm integrated with kernel principal component analysis for modeling the performance of a water treatment plant. *Journal of Water Process Engineering*, 33, 101081. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714419316678?casa\\_token=tP5\\_MdriZj4AAAAA:DuFQiCUp2ntuVnBSKSikNufYcHEa0FkFnT0E0mcZnFOxXD9m52-V0dIWzw\\_dSPXQbSs9UMqFASU](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714419316678?casa_token=tP5_MdriZj4AAAAA:DuFQiCUp2ntuVnBSKSikNufYcHEa0FkFnT0E0mcZnFOxXD9m52-V0dIWzw_dSPXQbSs9UMqFASU)
- Alver, A. & Kazan, Z. (2020). Prediction of full-scale filtration plant performance using artificial neural networks based on principal component analysis. *Separation and Purification Technology*, 230, 115868. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586619324086?casa\\_token=mspUB5kesgAAAAA:GcsBNrIHdKS3vg\\_sc6OqFgRcRiSUDUpqtmGT3PiHy3depsRp5Zc4LCBMcu9T5FijJ9nzU2DHUE8](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586619324086?casa_token=mspUB5kesgAAAAA:GcsBNrIHdKS3vg_sc6OqFgRcRiSUDUpqtmGT3PiHy3depsRp5Zc4LCBMcu9T5FijJ9nzU2DHUE8)

- CONAMA 9 (2008). Congreso nacional del medio ambiente: Cumbre del desarrollo sostenible, Madrid.  
[http://www.conama9.conama.org/bo/bancorecursos/banco\\_imagenes/conama9/Informe%20CONAMA%209/informe%20CONAMA%209.pdf](http://www.conama9.conama.org/bo/bancorecursos/banco_imagenes/conama9/Informe%20CONAMA%209/informe%20CONAMA%209.pdf) (Consultado 01/06/2020).
- Dreizin, Y. (2006). Ashkelon seawater desalination project—off-taker’s self costs, supplied water costs, total costs and benefits. *Desalination*, 190(1-3), 104-116.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916406001287>
- EPSAR (2019). “Memoria de Gestión”. Ejercicios 1993-2018. Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana, Valencia. Disponible en: <http://www.epsar.gva.es/sanejament/instalaciones/buscador-edar.aspx> (Consultado 01/06/2020).
- EU (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj?locale=en>
- Ghaffour, N., Missimer, T. M. & Amy, G. L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309, 197-207.  
<https://repository.kaust.edu.sa/handle/10754/562573>
- Haller, L., Hutton, G. & Bartram, J. (2007). Estimating the costs and health benefits of water and sanitation improvements at global level. *Journal of water and health*, 5(4), 467-480. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17878561>
- Hutton, G., Haller, L., Water, S. & World Health Organization. (2004). *Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at the global level* (No. WHO/SDE/WSH/04.04). World Health Organization: Geneva.  
[https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wsh0404.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/wsh0404.pdf)
- Jayaweera, C. D. & Aziz, N. (2018, December). Reliability of Principal Component Analysis and Pearson Correlation Coefficient, for Application in Artificial Neural Network Model Development, for Water Treatment Plants. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 458, No. 1, p. 012076). IOP Publishing.  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/458/1/012076/meta>
- Mahamuni, N. N. & Adewuyi, Y. G. (2010). Advanced oxidation processes (AOPs) involving ultrasound for waste water treatment: a review with emphasis on cost estimation. *Ultrasonics sonochemistry*, 17(6), 990-1003.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19879793/>
- Marzouk, M. & Elkadi, M. (2016). Estimating water treatment plants costs using factor analysis and artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4540-4549.  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615012366?casa\\_token=C3VphHpirwMAAAAA:9fYlZjvJPrCgTFHkSXjsJSEPa3VqwHQzySOJLacDEMtrmX1BOfv-TZR8VIOj2R9WeFCWwUZ6\\_UM](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615012366?casa_token=C3VphHpirwMAAAAA:9fYlZjvJPrCgTFHkSXjsJSEPa3VqwHQzySOJLacDEMtrmX1BOfv-TZR8VIOj2R9WeFCWwUZ6_UM)

- McDonald, R. I., Weber, K. F., Padowski, J., Boucher, T. & Shemie, D. (2016). Estimating watershed degradation over the last century and its impact on water-treatment costs for the world's large cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(32), 9117-9122. <https://www.pnas.org/content/113/32/9117>
- Melgarejo, J., Prats, D., Molina, A. & Trapote, A. (2016). A case study of urban wastewater reclamation in Spain: comparison of water quality produced by using alternative processes and related costs. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 6(1), 72-81. <https://iwaponline.com/jwrd/article/6/1/72/30249/A-case-study-of-urban-wastewater-reclamation-in>
- Mjalli, F. S., Al-Asheh, S. & Alfadala, H. E. (2007). Use of artificial neural network black-box modeling for the prediction of wastewater treatment plants performance. *Journal of Environmental Management*, 83(3), 329-338. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479706001228?casa\\_token=w9avtZNS-TEAAAAA:3gV37CMkaxIGDMDDXm33g9i9K4vXYBb-u-jTy2OzTbgAGm3IvIlc6a2-tZWmJ6UVOsKUwVHLg1s](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479706001228?casa_token=w9avtZNS-TEAAAAA:3gV37CMkaxIGDMDDXm33g9i9K4vXYBb-u-jTy2OzTbgAGm3IvIlc6a2-tZWmJ6UVOsKUwVHLg1s)
- Nascimento, A. L., de Souza, A. J., Oliveira, F. C., Coscione, A. R., Viana, D. G. & Regitano, J. B. (2020). Chemical attributes of sewage sludges: Relationships to sources and treatments, and implications for sludge usage in agriculture. *Journal of Cleaner Production*, 120746. [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620307939?casa\\_token=LpblCmg2y1kAAAAA:d42rOaHt\\_H9ta5EPjvzdrRJyGfapuZZCVUXdogaCpanS\\_sbevIjGmL3vdfbfo-rZS-3U1u0GOA](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620307939?casa_token=LpblCmg2y1kAAAAA:d42rOaHt_H9ta5EPjvzdrRJyGfapuZZCVUXdogaCpanS_sbevIjGmL3vdfbfo-rZS-3U1u0GOA)
- Navarro, T. (2018). Water reuse and desalination in Spain—challenges and opportunities. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 8(2), 153-168. <https://iwaponline.com/jwrd/article/8/2/153/38035/Water-reuse-and-desalination-in-Spain-challenges>
- Plappally, A. K. & Lienhard, J. H. (2013). Costs for water supply, treatment, end-use and reclamation. *Desalination and Water Treatment*, 51(1-3), 200-232. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19443994.2012.708996>
- Qasim, S. R., Lim, S. W., Motley, E. M. & Heung, K. G. (1992). Estimating costs for treatment plant construction. *Journal-American Water Works Association*, 84(8), 56-62. <https://www.jstor.org/stable/41293817?seq=1>
- Shah, K. L. & Reid, G. W. (1970). Techniques for estimating construction costs of waste treatment plants. *Journal Water Pollution Control Federation*, 776-793. <https://www.jstor.org/stable/pdf/25036567.pdf?seq=1>
- Shahmansouri, A. & Bellona, C. (2015). Nanofiltration technology in water treatment and reuse: applications and costs. *Water Science and Technology*, 71(3), 309-319. <https://iwaponline.com/wst/article/71/3/309/18777/Nanofiltration-technology-in-water-treatment-and>



- Wiesner, M. R., Hackney, J., Sethi, S., Jacangelo, J. G. & Laié, J. M. (1994). Cost estimates for membrane filtration and conventional treatment. *Journal-American Water Works Association*, 86(12), 33-41.  
<https://awwa.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/j.1551-8833.1994.tb06284.x>
- Yongguan, C., Seip, H. M. & Vennemo, H. (2001). The environmental cost of water pollution in Chongqing, China. *Environment and Development Economics*, 6(3), 313-333.  
<https://www.cambridge.org/core/journals/environment-and-development-economics/article/environmental-cost-of-water-pollution-in-chongqing-china/0976E880A719DACEAA6DB12623E32DC3>
- Zarzycki, P. K., Ślaczka, M. M., Włodarczyk, E. & Baran, M. J. (2013). Micro-TLC approach for fast screening of environmental samples derived from surface and sewage waters. *Chromatographia*, 76(19-20), 1249-1259.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10337-013-2445-3>